

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-251631

(43)Date of publication of application : 17.09.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00  
H01L 21/205  
H01S 3/18

(21)Application number : 10-049906

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 03.03.1998

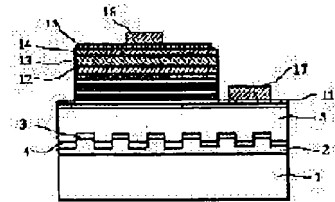
(72)Inventor : NAGAHAMA SHINICHI  
NAKAMURA SHUJI

## (54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT AND ITS MANUFACTURE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a nitride semiconductor element capable of having an effective reflecting mirror to be an excellent resonator on a surface light emitting laser also improving the photo-detecting efficiency of the light emitting element, by effectively reflecting the leakage light mainly on the substrate side in an LED.

**SOLUTION:** This nitride semiconductor element is structured of the first nitride semiconductor layer 2 grown on a dissimilar substrate 1 so as to form irregularities thereon exposing the sides thereof having the first protective films 3 on the upper plane of the projection, while the second protective film 4 on the under plane of the recession on the second nitride semiconductor layer 5 developing less crystal defects than the first nitride semiconductor layer 2 grown from the sides of the irregularities. In such a constitution, at least one out of the first and second protective films 3 and 4 fills the role of a reflecting mirror made of a dielectric multilayer.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3346735

[Date of registration] 06.09.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-251631

(43)公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

21/205

21/205

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願平10-49906

(22)出願日

平成10年(1998) 3月3日

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72)発明者 中村 修二

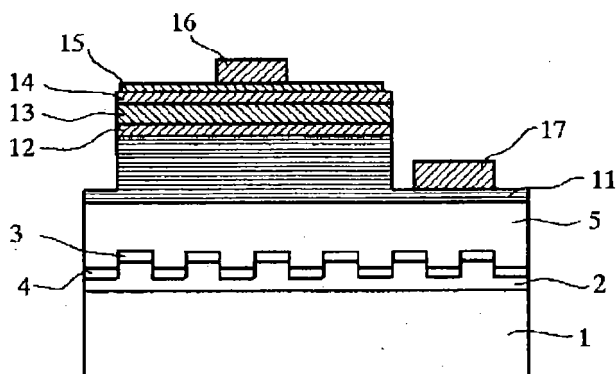
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54)【発明の名称】 窒化物半導体素子及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 LEDにおいて主として基板側に漏れる光を有効に反射させて、発光素子の光取り出し効率を向上させることができ、また面発光型レーザにおいて良好な共振器となる有効な反射鏡を有することができる窒化物半導体素子及びその製造方法を提供することである。

【解決手段】 異種基板1の上に成長された第1の窒化物半導体層2の表面上に凹凸を形成し第1の窒化物半導体層2の側面を露出して成り、その凸部の上部平面に第1の保護膜3及び凹部の下部平面に第2の保護膜4を有し、前記凹凸部の側面から成長させた第1の窒化物半導体層2より結晶欠陥の少ない第2の窒化物半導体層5上に素子構造を有する窒化物半導体素子であって、前記第1の保護膜3及び第2の保護膜4の少なくとも一方が誘電体多層膜よりなる反射鏡である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に成長された第1の窒化物半導体層に凹凸を形成しその凹凸部にある第1の窒化物半導体層の側面を露出して成り、その凸部の上部平面に第1の保護膜及び凹部の下部平面に第2の保護膜を有し、前記第1及び第2の保護膜を形成していない凹凸部の側面から成長させた第1の窒化物半導体層より結晶欠陥の少ない第2の窒化物半導体層上に素子構造を有する窒化物半導体素子であって、前記第1の保護膜及び第2の保護膜の少なくとも一方が誘電体多層膜よりなる反射鏡であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に、第1の窒化物半導体層を成長させる第1の工程と、

第1の工程後、前記第1の窒化物半導体層に凹凸を形成して第1の窒化物半導体層の側面を露出させ、凸部の上部平面に窒化物半導体が成長しない又は成長しにくい第1の保護膜を形成し、凹部の下部平面に窒化物半導体が成長しない又は成長しにくい第2の保護膜を形成する第2の工程と、

第2の工程後、前記第1の窒化物半導体層の露出された側面から第2の窒化物半導体層を成長させて窒化物半導体基板とする第3の工程と、

第3の工程で得られた窒化物半導体基板の上に複数の窒化物半導体層からなる素子構造を形成して窒化物半導体素子とする第4の工程を含み、

更に第2の工程で形成する第1の保護膜及び第2の保護膜のいずれか一方が誘電体多層膜よりなる反射鏡であることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項3】 前記第2の工程で、凹部の下部平面が第1の窒化物半導体層面又は異種基板面であることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体の成長方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、LED（発光ダイオード）、LD（レーザダイオード）、あるいはスーパーミネセントダイオード（SLD）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、 $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $x+y \leq 1$ ）を用いた窒化物半導体素子及びその製造方法に関し、特に結晶欠陥の少ない窒化物半導体基板上に素子構造を形成し発光効率や寿命特性などが向上して成る窒化物半導体素子及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、窒化物半導体から成る青色LED及び緑色LEDは既に実用化されている。LEDは、サファイア基板上にn型、p型の窒化物半導体が積層されたダブルヘテロ構造を有し、活性層は量子井戸構造の窒

化物半導体層を有している。LEDを構成する窒化物半導体発光素子は、このサファイア基板側を発光観測面側とする場合と、窒化物半導体層側を発光観測面側とする場合の2種類の形態に分けられる。まず、サファイア基板側を発光観測面とした場合、正と負の電極を窒化物半導体の同一面側に設けているため、例えばリードフレームのような支持体に電極を接続する際に電極間でのショート防止の点からチップサイズが大きくなり、ハンドリング性も悪くなる欠点がある。その一方で、この場合は、透明なサファイアの性質を積極的に利用しているので、光取り出し効率が良くなるという利点がある。次に、窒化物半導体側を発光観測面とする場合、チップサイズを小さくすることができ、ハンドリング性も前者の場合に比べて非常に優れている。その反面、窒化物半導体側を発光観測面とする場合、サファイア基板側に漏れる光は、例えばリードフレームの接着剤に吸収されて光取り出し効率が悪くなるという欠点がある。このような大きく分けて2種の形態からなるLEDは、それぞれ利点と欠点とを有しているが、製造工程の簡素化等の点から、ハンドリング性の良い後者が選択され、一般に市販されている。更に後者の場合、サファイア基板側に光が漏れ、光取り出し効率が低下するといった問題点を解決するために、例えば特開平9-64421号公報には、基板の素子構造を有していない面に光反射膜を形成することにより、基板側に漏れる光を窒化物半導体層側の発光観測面側に反射して発光効率を向上させる技術が記載されている。

【0003】また、本発明者等は、連続発振が可能な窒化物半導体のLD素子として、ストライプ型の導波路を有し活性層端面の劈開面又はエッチング面を共振面とするレーザ素子と、基板に対して垂直な方向でレーザ光が出射される面発光レーザ素子を提案している。上記2種類のレーザ素子において、面発光型レーザは、レーザ素子の低閾値化、横モード、縦モード等を安定化させるためには有用である。そして、面発光レーザ素子は、レーザビーム径を小さくし易くDVD光源として非常に有利であり、更に、単一横モードが得られ易く、単一横モードが求められている光通信分野においても望ましい。本発明者等が提案した面発光型の窒化物半導体レーザ素子として、例えば特開平7-335975号、同8-264891号、同8-321660号各公報に、サファイア基板面とp側層の最上部に反射鏡を形成した面発光レーザ素子、また基板面又は窒化物半導体の最上層に一方の反射鏡を形成し、素子から離れた位置に他方の反射鏡を形成した面発光レーザ素子、更に活性層のn側に反射鏡の機能を有する半導体を積層形成し、他方の反射鏡を基板面あるいは窒化物半導体の最上層に形成する面発光レーザ素子が記載されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記L

EDの後者（窒化物半導体側を発光観測面とする）の場合、サファイア基板側に漏れる光を反射させるためにサファイア基板表面に光反射膜を形成する技術では、発光効率がある程度向上したものの十分満足できるものではない。更に、上記公知の面発光レーザ素子は、活性層と反射鏡との距離が長すぎて反射鏡を共振器とするのが難しく、また活性層のn側に形成される反射鏡となる半導体として $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ の多層膜を活性層を成長させる前に形成する技術では、活性層を結晶性良く成長させ難くなる傾向がある。

【0005】そこで、本発明の目的は、LEDにおいて主として基板側に漏れる光を有効に反射させて、発光素子の光取り出し効率を向上させることができ、また面発光型レーザにおいて良好な共振器となる有効な反射鏡を有することができる窒化物半導体素子及びその製造方法を提供することである。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は下記

(1)～(3)の構成によって本発明の目的を達成することができる。

(1) 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に成長された第1の窒化物半導体層に凹凸を形成しその凹凸部にある第1の窒化物半導体層の側面を露出して成り、その凸部の上部平面に第1の保護膜及び凹部の下部平面に第2の保護膜を有し、前記第1及び第2の保護膜を形成していない凹凸部の側面から成長させた第1の窒化物半導体層より結晶欠陥の少ない第2の窒化物半導体層上に素子構造を有する窒化物半導体素子であって、前記第1の保護膜及び第2の保護膜の少なくとも一方が誘電体多層膜よりなる反射鏡であることを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に、第1の窒化物半導体層を成長させる第1の工程と、第1の工程後、前記第1の窒化物半導体層に凹凸を形成して第1の窒化物半導体層の側面を露出させ、凸部の上部平面に窒化物半導体が成長しない又は成長しにくい第1の保護膜を形成し、凹部の下部平面に窒化物半導体が成長しない又は成長しにくい第2の保護膜を形成する第2の工程と、第2の工程後、前記第1の窒化物半導体層の露出された側面から第2の窒化物半導体層を成長させて窒化物半導体基板とする第3の工程と、第3の工程で得られた窒化物半導体基板の上に複数の窒化物半導体層からなる素子構造を形成して窒化物半導体素子とする第4の工程を含み、更に第2の工程で形成する第1の保護膜及び第2の保護膜のいずれか一方が誘電体多層膜よりなる反射鏡であることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

(3) 前記第2の工程で、凹部の下部平面が第1の窒化物半導体層面又は異種基板面であることを特徴とする前記(2)に記載の窒化物半導体の成長方法。

【0007】つまり、本発明は、結晶欠陥を減少させることができる窒化物半導体の横方向の成長を利用して窒化物半導体を成長させる(lateral over growth: ラテラル成長)ことにより、結晶欠陥の非常に少ない窒化物半導体を得られ、更にラテラル成長の際に用いられる保護膜に光を反射する機能を持たせることにより、上記従来の問題点を解決することができる。このように、本発明は、ラテラル成長によって結晶欠陥の非常に少ない窒化物半導体を成長させ、その上に素子構造を形成するので、結晶性の良好な素子構造が得られ、これによって結晶欠陥の多い場合に比べ発光効率が向上する。更に本発明は、ラテラル成長の際に用いられる保護膜に光を反射する機能を加えたこと、つまり保護膜として誘電体多層膜よりなる反射鏡を用いることにより、LEDでは基板側に漏れる光を保護膜で反射させることができるので、発光効率がさらに向上し、又、面発光レーザでは活性層と近距離に且つ素子構造の結晶性を損なうことのない光を反射可能な保護膜が形成されているので、面発光レーザの共振器となる良好な反射鏡を得ることができる。このように、反射鏡が活性層に近いと反射鏡間(共振器長)を小さくすることが可能となるので、吸収等からくる共振器の内部損失が小さくなり発振しきい値が下がる傾向がある。

【0008】従来、窒化物半導体を成長させるための基板として、窒化物半導体と格子整合する基板が存在しないため、例えばサファイア、スピネル、炭化ケイ素等が基板として用いられていた。このような格子整合しない基板上に成長される窒化物半導体には、多くの結晶欠陥が発生し良好な結晶として窒化物半導体を得ることができない。結晶欠陥は素子構造となる窒化物半導体に転位し素子の性能を低下させる一つの要因となる。この性能低下の要因となる結晶欠陥を少なくする窒化物半導体の成長方法を行いその上に素子構造を形成して成る素子として、例えば、本発明者等は、サファイア基板上にGaN膜を約 $2\mu\text{m}$ 成長させた後 $\text{SiO}_2$ より成る保護膜をレーザの共振方向に沿って幅 $8\mu\text{m}$ 、保護膜と保護膜の間を $4\mu\text{m}$ となるようにストライプ状に形成し、保護膜が形成されていない部分から縦方向に成長を開始させ、続いて保護膜上で横方向に成長させ、 $10\mu\text{m}$ の膜厚のGaN膜を成長させると、保護膜上に特に結晶欠陥が少なく且つ全体的にも結晶欠陥が少ないGaN単結晶膜が得られ、この結晶欠陥の少ないGaN単結晶膜上に素子構造を成長させることで、波長約 $400\text{nm}$ 、光出力 $2\text{mW}$ で連続発振約1万時間を達成できる窒化物半導体レーザ素子が得られることを発表している(例えば「InGaN系多重量子井戸構造半導体レーザの現状」, 第58回応用物理学学会学術講演会, 講演番号4aZC-2, 1997年10月, "Present Status of InGaN/AlGaN based Laser Diodes", The Second Int

ernational Conference on Nitride Semiconductors (ICNS'97), 講演番号S-1, 1997年10月などに記載されている)。このような保護膜上に窒化物半導体の横方向の成長を利用して窒化物半導体を成長させる方法は、lateral over growth (ラテラル成長) と言われている。

【0009】このような公知の技術に対し、本発明は、サファイアなどの異種基板上に第1の窒化物半導体層を成長させて、凹凸部を設け、凸部の上部平面に第1の保護膜を、凹部の下部平面に第2の保護膜を形成した後、第2の窒化物半導体を成長させることで、窒化物半導体の縦方向への成長をいったん抑制し、まず横方向にのみ成長させた後、横及び縦方向に成長させることにより結晶欠陥の転位や発生が減少し、結晶性の良好な第2の窒化物半導体層を得ることができるものである。上記従来のラテラル成長では窒化物半導体の縦方向への成長を部分的に抑制しているのみであるが、本発明は縦方向の成長を実質的全て抑制し横方向の成長のみとし、その後縦と横の両方向への成長をさせるものである。更に本発明は、このようなラテラル成長に用いる保護膜として、窒化物半導体が成長しにくい性質に加えて、光を反射できる機能を加えることにより、反射鏡として新たに製造工程を増やすことなく良好な反射鏡が得られる。しかも従来の反射鏡の形成位置に比べ活性層に近い位置に形成できるので反射鏡としての機能が良好となると共に、前記従来の素子構造内に反射鏡として半導体を形成した場合に比べ、本発明の反射鏡はラテラル成長に用いられる保護膜であるので、素子構造の結晶性を損なうことなく結晶性を良好に保つことができる。従って、本発明は、良好な反射鏡を有する発光効率の向上した発光ダイオード、及び良好な共振器と成りうる反射鏡を有する面発光レーザ素子を得ることができ、更にそれらを得ることができる製造方法を提供することができる。以下、明細書内において、第2の窒化物半導体を単に窒化物半導体基板、又は基板という場合がある。

【0010】また、面発光レーザにおいて、反射鏡がフエブリペロー型の平板反射鏡になるので、反射鏡が活性層から遠いと共振する光の帰還率がなくなる可能性があり、本発明においては反射鏡が活性層に近い位置で形成可能なので光りの帰還率が良好となる。

【0011】本発明において、第1の保護膜及び第2の保護膜のいずれか一方が誘電体多層膜より成る反射鏡であればよく、好ましくは両方が誘電体多層膜より成る反射鏡であることが、LEDにおける発光効率の向上及び面発光レーザの反射鏡としての有用性の向上が得られるので望ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】以下に図1、図2～図5を用いて本発明の窒化物半導体素子及びその製造方法を更に詳細

に説明する。

【0013】図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子を示した模式的断面図である。図1には、窒化物半導体と異なる異種基板1上に形成された第1の窒化物半導体層2の表面上に凹凸部を形成して成り、その凸部の上部平面に第1の保護膜3及び凹部の下部平面に第2の保護膜4を有し、前記第1の保護膜3及び第2の保護膜4が形成されていない凹凸部の側面から成長された第2の窒化物半導体層5を基板とし、その基板上に素子構造を有してなる窒化物半導体素子が記載されている。更に本発明において、第1の保護膜3及び／又は第2の保護膜4は、誘電体多層膜である。

【0014】本発明の第2の窒化物半導体層（窒化物半導体基板）として、ラテラル成長を利用して窒化物半導体を成長させる方法は、第1の窒化物半導体に部分的に凹凸を設けた凸部の上部平面に第1の保護膜を形成し、凹部の下部平面に第2の保護膜を形成することで、異種基板の表面に発生する結晶欠陥が連続的に転位するのを防止する。更に、このように第1及び第2の保護膜を形成すると、窒化物半導体が保護膜上に成長しにくいことから、第2の窒化物半導体の成長が選択的に第1の窒化物半導体の凹凸部の保護膜の形成されていない側面から横方向に成長をはじめめる。ここで、異種基板の表面に発生する結晶欠陥は、窒化物半導体が横方向に成長する過程では、縦方向に成長する場合に比べて、転位が極めて少なくなる。更に横方向に転位した結晶欠陥は、窒化物半導体が横から縦方向へも成長し始める際にほとんど転位が起これないと推定される。その結果、結晶欠陥のほとんどない、結晶性の非常に良好な第2の窒化物半導体を厚膜で得ることができる。ここで、窒化物半導体は保護膜上に成長しにくい、第2の窒化物半導体が横方向と縦方向の成長を続けることで、あたかも保護膜の上に成長しているかのように保護膜を覆って成長する。

【0015】更に、第2の窒化物半導体の表面の結晶欠陥の現れている部分に新たに保護膜を形成し、その上に新たな窒化物半導体を成長させてもよく、こうすることにより更に結晶欠陥を減少させることができる。この場合、新たな保護膜は、反射機能を有していてもいなくてもよいが、好ましくは発光効率が向上するので反射機能を有する。また、面発光レーザの場合、素子構造の最上層に設けられたもう一方の反射鏡（例えば図9ではp電極27が保護膜よりなる反射鏡と対になる。）と対面する位置に形成された新たな保護膜が少なくとも反射機能を有していることが好ましい。新たな保護膜が反射機能を有している場合、異種基板、第1及び第2の保護膜や第2の窒化物半導体を除去し易くなり、新たな保護膜を形成した上に成長された新たな窒化物半導体を基板とすることもできる。

【0016】また、本発明の上記のラテラル成長を利用した成長方法により得られる結晶欠陥の非常に少ない結

晶性の良好な第2の窒化物半導体を基板として用いて窒化物半導体素子を作成すると、この上に積層成長させた窒化物半導体素子も同様に、結晶欠陥のない結晶性の良好な素子となり、結晶欠陥による劣化を著しく防止できライフ時間が向上し、また、LEDでは逆耐圧が著しく上昇し、寿命特性の良好な窒化物半導体素子を提供することが可能となる。更に、このような結晶欠陥の低減による素子の性能の向上に加え、ラテラル成長で用いられる保護膜に光反射機能を持たせることにより、発光効率

がより向上し、面発光レーザでの良好な反射鏡となる。【0017】また、本発明は、窒化物半導体と異なる異種基板1上に形成した第1の窒化物半導体層2に凹凸部を形成し、凸部の上部平面に第1の保護膜3及び凹部の下部平面に第2の保護膜4をそれぞれ形成して、第2の窒化物半導体層を成長させて窒化物半導体基板となした後、この基板上に素子構造を形成する前に異種基板1を除去してから素子構造を形成してもよい。

【0018】以下に、図2～図5に示された、本発明の窒化物半導体基板となる第2の窒化物半導体層の成長方法の一実施の形態を段階的に示した模式的断面図を用いて、第2の窒化物半導体層の成長方法を更に詳細に説明する。

【0019】本発明の第2の窒化物半導体層の成長方法の一実施の形態として、まず、図2の第1の工程において、異種基板1上に第1の窒化物半導体層2を成長させ、図3の第2の工程において、第1の窒化物半導体2の側面を露出させるために第1の窒化物半導体2の表面に凹凸を形成し、第1の窒化物半導体2の成長の方向をコントロールするために、凸部の上部平面に第1の保護膜3を形成し、凹部の下部平面に第2の保護膜4を形成し、続いて図4の第3の工程において、成長の方向が制御された第1の窒化物半導体2、つまり第1の窒化物半導体2の側面から第2の窒化物半導体5を成長させ窒化物半導体基板を形成する。

【0020】以下に上記各工程ごとに図を用いて更に詳細に説明する。図2は異種基板1上に、第1の窒化物半導体2を成長させる第1の工程を行った模式的断面図である。この第1の工程において、用いることのできる異種基板1としては、例えば、C面、R面及びA面のいずれかの面を主面とするサファイア、スピネル ( $MgAl_2O_4$ ) のような絶縁性基板、SiC (6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。好ましい異種基板としては、サファイア、スピネルが挙げられる。

【0021】また、第1の工程において、異種基板1上に第1の窒化物半導体2を成長させる前に、異種基板1上にバッファ層 (図示されていない) を形成してもよい。バッファ層としては、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq$

1) よりなる組成のものを用いることができる。バッファ層は、 $200^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ の低温で成長され、膜厚としては1原子以上の膜厚であればよいが、例えば $0.5 \mu\text{m} \sim 10$ オングストロームの膜厚で成長される。このように異種基板1上にバッファ層を上記温度範囲で形成すると、異種基板1と第1の窒化物半導体2との格子定数不正を緩和し、第1の窒化物半導体2の結晶欠陥が少なくなる傾向にある。また、バッファ層として例えばZnO等の窒化物半導体と異なる半導体よりなる層をバッファ層としてもよい。

【0022】第1の工程において、異種基板1上に形成される第1の窒化物半導体2としては、アンドープ (不純物をドーブしない状態、undope) のGaN、Si、Ge、及びS等のn型不純物をドーブしたGaNを用いることができる。n型不純物濃度としては $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下である。第1の窒化物半導体2は、高温、具体的には $900^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ 、好ましくは $1050^\circ\text{C}$ で異種基板1上に成長される。第1の窒化物半導体2の膜厚は特に限定しないが、凹凸部を形成するためには $100$ オングストローム以上、好ましくは $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 程度、より好ましくは $1 \sim 5 \mu\text{m}$ の膜厚で形成することが望ましい。

【0023】次に、図3は異種基板1上に第1の窒化物半導体2を成長させた後、第1の窒化物半導体2に第1の窒化物半導体2がわずかに残る程度の深さで凹凸部を形成して、第1の窒化物半導体2の側面を露出させ、図3のように凸部の上部平面に第1の保護膜3を形成し、凹部の下部平面に第2の保護膜4を形成し、第1の窒化物半導体2の縦方向の成長を抑制して横方向の成長のみにする第2の工程を行った模式的断面図である。第2の工程において、凹凸部の形成と保護膜の形成の順は特に限定されず、例えば後述の方法で行われる。

【0024】第2の工程において、凹凸を形成すると、少なくとも第1の窒化物半導体2の側面が露出されるように、第1の窒化物半導体2の表面から異種基板1の方向に窪みを形成してあればよく、第1の窒化物半導体2にいずれの形状で凹凸を設けてもよく、例えば、ランダムな窪み、ストライプ状、基盤面状、ドット状に形成できる。第1の窒化物半導体2に部分的に設けられた凹凸部は、第1の窒化物半導体2の途中まで、又は異種基板に達する深さで形成され、この凹凸部の窪みの深さは、第1の窒化物半導体2の膜厚や、凹部の下部に形成される第2の保護膜4の膜厚等にも左右される値であり、第1の窒化物半導体2の側面から横方向に成長する第2の窒化物半導体5が成長し易い形状の側面が得られるように凹凸部が形成されることが好ましい。凹凸部の窪みの深さは、第1の窒化物半導体2が残る程度の深さが好ましい。例えば、凹凸部を形成する際に異種基板1が露出されていると、第2の保護膜4の形成時に第1の窒化物半導体2の側面付近に第2の保護膜4が形成しに

くいと考えられることから、第2の保護膜4が十分に異種基板1の表面を覆っていない場合には、異種基板1の表面に第2の窒化物半導体5が成長し、そこから結晶欠陥が発生する可能性があるからである。凹凸部の窪みの具体的な深さは、特に限定されないが、例えば500オングストローム～5 $\mu\text{m}$ である。

【0025】凹凸部の形状をストライプ状とする場合、ストライプの具体的な形状として、例えばストライプ幅10～20 $\mu\text{m}$ 、ストライプ間隔2～5 $\mu\text{m}$ のものを形成することができる。

【0026】第2の工程で凹凸部を設ける方法としては、第1の窒化物半導体を一部分取り除くことができる方法であればいずれの方法でもよく、例えばエッチング、ダイシング等が挙げられる。エッチングにより、第1の窒化物半導体2に凹凸を形成する場合は、フォトリソグラフィ技術における種々の形状のマスクパターンを用いて、ストライプ状、基盤目状等のフォトマスクを作製し、レジストパターンを第1の窒化物半導体2に形成してエッチングすることにより形成できる。また、上記形状のマスクを用いてオフトリフ法を行ってもよい。また、ダイシングで行う場合は、例えば、ストライプ状や基盤目状に形成できる。

【0027】第2の工程において窒化物半導体をエッチングする方法には、ウェットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、平滑な面を形成するには、好ましくはドライエッチングを用いる。ドライエッチングには、例えば反応性イオンエッチング(RIE)、反応性イオンビームエッチング(RIBE)、電子サイクロトロネッチング(ECR)、イオンビームエッチング等の装置があり、いずれもエッチングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッチングしてできる。例えば、本出願人が先に出願した特開平8-17803号公報記載の窒化物半導体の具体的なエッチング手段を用いることができる。また、エッチングによって段差を形成する場合、エッチング面が、図3に示すように異種基板に対して側面がほぼ垂直となる形状、又は順メサ形状や逆メサ形状でもよく、あるいは第1の窒化物半導体2の側面が階段状になるように形成された形状等がある。

【0028】第2の工程で、第1の窒化物半導体2が縦方向に成長するのを制御するために、例えば凹凸部の凸部の上部平面に第1の保護膜3を形成し、凹部の下部平面に第2の保護膜4を形成する。凹凸部の側面の形状が階段状である場合は、階段の各段の異種基板にほぼ水平な面に第2の保護膜4をそれぞれ形成する。第2の工程で用いられる第1及び第2の保護膜としては、保護膜表面に窒化物半導体が成長しないか、若しくは成長しにくい性質を有し、更に第1の保護膜と第2の保護膜の少なくとも一方が光を反射する機能を有する誘電体多層膜

(反射鏡)である材料が挙げられる。第1の保護膜及び第2の保護膜の少なくとも一方が反射鏡となる誘電体多

層膜であると、LEDの場合、基板側に漏れる光を発光面に反射することができ発光効率が向上し、LDの場合、面発光レーザの良好な反射鏡となる。LEDの場合、好ましくは第1の保護膜及び第2の保護膜が反射鏡であると上記効果がより良好となり好ましい。LDの場合は、素子構造の最上層に形成される他方の反射鏡(例えば図8のp電極27)と対向する位置に、第1又は第2の保護膜を有し、その保護膜が少なくとも反射機能を有していればよい。他方の反射鏡と対向する保護膜としては第1の保護膜が好ましい。

【0029】保護膜として、例えば酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )、窒化ケイ素( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )、窒化チタン( $\text{Ti}_2\text{N}_3$ )、酸化ジルコニウム( $\text{ZrO}_2$ )等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜が挙げられる。保護膜が活性層で発光する光を反射可能な機能を有する場合、保護膜の材料としては、誘電体多層膜であればよく、例えば前記の保護膜となる材料を用いることができ、前記保護膜材料を例えば $\lambda/4n$ ( $\lambda$ :発光波長、 $n$ :誘電体の屈折率)となるように積層することにより光を反射可能な誘電体多層膜(反射鏡)とすることができる。また、光を反射可能な保護膜としては、Pt、Ni、Cr、Ag等のように、例えば銀白色の金属で活性層の発光を反射して、表面に窒化物半導体が成長しにくい性質を有する金属でもよい。なお、保護膜(反射鏡の機能を兼ね備える場合を含む)は、上記酸化物、窒化物、誘電体多層膜、金属等が第2の窒化物半導体の成長温度に耐える融点を有している材料を選択することが望ましい。また上記材料からなる反射鏡において、好ましい反射鏡としては、例えば反射率がほぼ100%の高い反射率を有し、MOCVD等の反応条件に耐え得る化学的に安定した材料の誘電体多層膜が挙げられる。保護膜材料を窒化物半導体表面に形成するには、例えば蒸着、スパッタ、CVD等の気相製膜技術を用いることができる。

【0030】また、第2の工程において、第1の保護膜3及び第2の保護膜4は、凹凸部を第1の窒化物半導体2に形成する方法が、エッチングである場合と、ダイシングである場合とで、形成のされ方が多少異なる。まずエッチングで凹凸部を形成する場合、第1の窒化物半導体2上に第1の保護膜3となる保護膜材料を形成後、その上にレジスト膜を形成しパターンを転写し露光、現像して第1の窒化物半導体2に部分的に第1の保護膜3を形成した後、第1の窒化物半導体2をエッチングすることで凹凸部の形成を行う。続いて凹凸部を形成した第1の窒化物半導体2上、つまり第1の保護膜3や凹凸部の下部等に更に第2の保護膜4となる保護膜材料を形成し、 $\text{CF}_4$ と $\text{O}_2$ ガスによるドライエッチングにより、凹凸部を形成し露出された第1の窒化物半導体2の側面部分のみの保護膜をエッチングし、第2の保護膜4を形成する。このように形成すると、例えば図3では、第1の

保護膜3は一層として図示されているが、第1の保護膜3上に更に保護膜が形成され2層の保護膜が積層されたような状態になっている。ここで第2の保護膜4を形成する前に、凹凸部の上部平面に形成された第1の保護膜3を取り除いてから、凸部の上部平面と凹部の下部平面とに保護膜を形成してもよく、又は第1の保護膜3を取り除かずに第2の保護膜4を形成してもよい。

【0031】また、エッチングで凹凸部を形成する場合、リフトオフ法を用いて保護膜を形成する方法を行ってもよい。まず、第1の窒化物半導体層の表面上に特定の形状（例えば保護膜の形状がストライプ状となるような形状のもの）のマスクを形成する。次に、マスクを形成した第1の窒化物半導体の全面に、第1の保護膜を形成した後、マスクをリフトオフ法により除去して、第1の保護膜を特定の形状に形成する。次に、第1の保護膜が形成されていない第1の窒化物半導体をエッチングにより除去し、第1の窒化物半導体層に凹凸部を形成する。このように第1の保護膜を形成され且つ凹凸部を形成された第1の窒化物半導体層の上にマスクを形成し、凹部の下部のマスクを除去し、マスクが除去された凹部の下部に第2の保護膜を形成し、第1の保護膜上のマスクや凹凸部の露出された側面のマスク等のマスクを除去する。こうすることによって、第1の窒化物に形成された凸部の上部平面に第1の保護膜を、凹部の下部平面に第2の保護膜を形成できる。

【0032】次に、ダイシングで凹凸部を形成する場合、第1の窒化物半導体2を上面からダイシング・ソーで第1の窒化物半導体2に凹凸部を形成し、その後、その上に保護膜を形成し、 $CF_4$ と $O_2$ ガスによるドライエッチングにより端面部分の保護膜のみエッチングすることで所望の形状及び位置に第1の保護膜3及び第2の保護膜4を同時に形成する。

【0033】第1の保護膜3及び第2の保護膜4の膜厚は、特に限定せず、ドライエッチングにより凹凸部の側面を露出させられる膜厚であり、且つ底面を被覆できる膜厚にする必要がある。また、第1の保護膜3と第2の保護膜4の膜厚は、第2の窒化物半導体5が横方向に成長し易いように調整されていることが好ましく、場合によってはそれぞれの膜厚が異なってもよい。例えば、第1の保護膜3は、薄く形成された方が、第3の工程で成長させる第2の窒化物半導体5が第1の保護膜3と同程度の膜厚となった時、隣接している第2の窒化物半導体5同士が接合し易くなると考えられる。また第2の保護膜4は、比較的厚く（但し、第1の窒化物半導体2の側面が第2の窒化物半導体5が成長される程度に十分露出されている範囲）形成された方が、第2の窒化物半導体5の成長初期において、凹凸部の下部（第1の窒化物半導体の平面又は異種基板面）を十分に覆うことができると共に熱による第2の保護膜4へのピンホールの発生を防止できると考えられる。ピンホールが保護膜に発生す

ると、ピンホールから第2の窒化物半導体5が縦方向に成長する恐れがあり、結晶欠陥の発生の原因となると考えられる。

【0034】次に、図4は、エッチングにより露出された第1の窒化物半導体2の側面から第2の窒化物半導体5を成長させる第3の工程を行った模式的断面図である。第3の工程においては、第1～第2の工程により第1の保護膜3及び第2の保護膜4を形成したことにより、第2の窒化物半導体5が成長可能な部分を、第1の窒化物半導体2の側面のみとし、第1の窒化物半導体2の凹凸部の側面から第2の窒化物半導体5が選択的に横方向に成長し始める。そして、成長を続けるうちに、第2の窒化物半導体5が横方向に加え縦方向にも成長をはじめ、窒化物半導体が成長しにくい保護膜上にあたたかも成長したかのように、第2の窒化物半導体5は第1の保護膜3及び第2の保護膜4を覆い成長を続ける。このように成長初期に成長方向を特定された第2の窒化物半導体5は、厚膜に成長させても、結晶欠陥の少ない非常に良好な結晶性を有する。

【0035】第2の窒化物半導体5としては、前記第1の窒化物半導体2と同様のものを用いることができる。第2の窒化物半導体5は、成長の初期においては、保護膜の形成されていない第1の窒化物半導体の側面に選択的に成長し、向き合っている第1の窒化物半導体の側面から横方向に成長した第2の窒化物半導体が第2の保護膜4の上面を覆いながら、次第に横方向から縦方向に成長し始め第1の保護膜3と同程度の膜厚に成長すると、図4のように第2の窒化物半導体が第1の保護膜3の上部に向かって横方向に成長し、そして図4のように隣接している第2の窒化物半導体5同士でつながっていく。その結果、図5に示すように、第2の窒化物半導体5があたたかも第1の保護膜3及び第2の保護膜4上に成長したかのような状態となる。

【0036】第2の窒化物半導体5は、この上に素子構造となる窒化物半導体を成長させるための基板となる。第2の窒化物半導体の膜厚は、特に限定されないが、 $100\mu m \sim 500\mu m$ 、好ましくは $50\mu m \sim 400\mu m$ である。この範囲であると異種基板と窒化物半導体の熱膨張係数差によるウェハの反りが防止でき、更に素子基板となる第2の窒化物半導体5の上に素子構造となる窒化物半導体を良好に成長させることができる。

【0037】ラテラル成長において、3族源のガスに対する窒素源のガスのモル比（V/III比を2000より大きくする場合は、窒化物半導体の

【0038】

【外1】

{ 1 1  $\overline{2}$  2 }

【0039】面が成長し易い面となり、成長が進行するにつれて、図6の窒化物半導体の成長状態を示す模式的



断面図に示されるように、保護膜上に成長していく窒化物半導体の結晶面小面 (Facet: ファセット) が斜めになり隣接する窒化物半導体同士が接合するまではほぼ台形状に成長し易い傾向がある。また、ラテラル成長において、V/III比を2000以下にする場合は、窒化物半導体の

【0040】

【外2】

{1120}

【0041】面が成長し易い面となり、図4に示すように、保護膜上に成長していく窒化物半導体のファセットがほぼ垂直になり易い傾向がある。保護膜上に成長していく窒化物半導体の断面の形状が、斜めの場合に比べ、垂直に成長をする場合の方が、結晶欠陥の転移がまっすぐ表面まで達しなく、転移が90°曲がり易くなるようである。更にファセットが垂直に成長をする場合は、表面透過型電子顕微鏡観察によると、窓部上部のみに転移が観測され保護膜上部にはほとんど欠陥が見られなくなる。ファセットが垂直に成長をする場合、窓部上部の結晶欠陥濃度は、ほぼ10<sup>6</sup>個/cm<sup>2</sup>以下好ましくは10<sup>7</sup>個/cm<sup>2</sup>以下であり、保護膜上部では、ほぼ10<sup>6</sup>個/cm<sup>2</sup>以下、好ましくは10<sup>5</sup>個/cm<sup>2</sup>以下である。これに対しファセットが斜めに成長をする場合は、窓部及び保護膜上部両方に渡って転移が10<sup>7</sup>個/cm<sup>2</sup>以上となる傾向がある。V/III比の好ましい値としては2000~100、1500~500であり、この範囲であると、上記結晶欠陥の転移が表面まで転移しにくくなり良好な結晶性を有する窒化物半導体を得られやすい。

【0042】本発明において、第1の窒化物半導体2、及び第2の窒化物半導体5を成長させる方法としては、特に限定されないが、MOVPE (有機金属気相成長法)、HVPE (ハライド気相成長法)、MBE (分子線エピタキシー法)、MOCVD (有機金属化学気相成長法) 等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。好ましい成長方法としては、膜厚が100μm以下ではMOCVD法を用いると成長速度をコントロールし易い。また膜厚が100μm以下ではHVPEでは成長速度が速くてコントロールが難しい。

【0043】また本発明において、第2の窒化物半導体5上には、素子構造となる窒化物半導体を形成することができるので、明細書内において第2の窒化物半導体を素子基板又は窒化物半導体基板と言う場合がある。

【0044】また第1の工程における前記異種基板となる材料の主面をオフアングルさせた基板、さらにステップ状にオフアングルさせた基板を用いることもできる。更に好ましい異種基板としては、(0001)面[C面]を主面とするサファイア、(112-0)面[A面]を主面とするサファイア、又は(111)面を主面とするス

ピネルである。ここで異種基板が、(0001)面[C面]を主面とするサファイアであるとき、前記保護膜がそのサファイアの(112-0)面[A面]に対して垂直なストライプ形状を有していること [窒化物半導体の(101-0) [M面]に平行方向にストライプを形成すること] が好ましく、また(112-0)面[A面]を主面とするサファイアであるとき、前記保護膜はそのサファイアの(11-02)面[R面]に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましく、また(111)面を主面とするスピネルであるとき、前記保護膜はそのスピネルの(110)面に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましい。ここでは、保護膜がストライプ形状の場合について記載したが、本発明においてサファイアのA面及びR面、スピネルの(110)面に窒化物半導体が横方向に成長し易いので、これらの面に第1の窒化物半導体2の側面が形成されるように第1の窒化物半導体2に凹凸部を形成するために保護膜の形成を考慮することが好ましい。

【0045】本発明に用いられる異種基板について図を用いて更に詳細に説明する。図7は窒化物半導体の結晶構造を示すユニットセル図である。窒化物半導体は正確には菱面体構造であるが、このように六方晶系で近似できる。まず本発明の方法において、C面を主面とするサファイアを用い、保護膜はサファイアA面に対して垂直なストライプ形状とする場合について説明する。例えば、図8は主面側のサファイア基板の平面図である。この図はサファイアC面を主面とし、オリエンテーションフラット (オリフラ) 面をA面としている。この図に示すように保護膜のストライプをA面に対して垂直方向で、互いに平行なストライプを形成する。図8に示すように、サファイアC面上に窒化物半導体を選択成長させた場合、窒化物半導体は面内ではA面に対して平行な方向で成長しやすく、垂直な方向では成長しにくい傾向にある。従ってA面に対して垂直な方向でストライプを設けると、ストライプとストライプの間の窒化物半導体がつながって成長しやすくなり、図2~図5に示したような結晶成長が容易に可能となる。

【0046】次に、A面を主面とするサファイア基板を用いた場合、上記C面を主面とする場合と同様に、例えばオリフラ面をR面とすると、R面に対して垂直方向に、互いに平行なストライプを形成することにより、ストライプ幅方向に対して窒化物半導体が成長しやすい傾向にあるため、結晶欠陥の少ない窒化物半導体層を成長させることができる。

【0047】また次に、スピネル (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) に対しても、窒化物半導体の成長は異方性があり、窒化物半導体の成長面を(111)面とし、オリフラ面を(110)面とすると、窒化物半導体は(110)面に対して平行方向に成長しやすい傾向がある。従って、(110)面に対して垂直方向にストライプを形成すると窒化

10

20

30

40

50

物半導体層と隣接する窒化物半導体同士が保護膜の上部でつながって、結晶欠陥の少ない結晶を成長できる。なおスピネルは四方晶であるため特に図示していない。

【0048】次に、第3の工程で得られた第2の窒化物半導体5（窒化物半導体基板）の上に複数の窒化物半導体層からなる素子構造を形成して窒化物半導体素子とする第4の工程について以下に説明する。第4の工程では、第2の窒化物半導体5（窒化物半導体基板）上に、素子構造となる少なくともn型及びp型等の複数の窒化物半導体層を成長させる。素子構造となる窒化物半導体10としては、特に限定されず、少なくともn型及びp型の窒化物半導体が積層されていればよい。例えば、n型窒化物半導体層として、超格子構造を有するn型窒化物半導体層を有し、この超格子構造のn型層にn電極を形成することのできるn型窒化物半導体が形成されているもの等が挙げられる。また、窒化物半導体素子構造を形成するその他の構成、例えば電極、素子の形状等は、いずれのものを適用させてもよい。本発明の窒化物半導体素子の一実施の形態を実施例に示したが、本発明はこれに限定されない。

【0049】本発明の窒化物半導体素子構造となる窒化物半導体を成長させる方法は、特に限定されないがMOVPE（有機金属気相成長法）、HVPE（ハライド気相成長法）、MBE（分子線エピタキシー法）、MOCVD（有機金属化学気相成長法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。好ましい成長方法は、MOCVD法であり、結晶をきれいに成長させることができる。しかし、MOCVD法は時間がかかるため、膜厚が厚い場合には時間の短い方法で行うことが好ましい。また使用目的によって種々の窒化物半導体の成長方法を適宜選択し、窒化物半導体の成長を行うことが好ましい。

#### 【0050】

【実施例】以下に本発明の一実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

【実施例1】実施例1における窒化物半導体基板（第2の窒化物半導体層5）の製造の各工程を図2～図5を用いて示す。また実施例1での窒化物半導体基板の製造は、MOCVD法を用いて行った。更に得られた窒化物半導体基板上に図1に示すLED素子の素子構造を形成し窒化物半導体素子を得る。

【0051】（第2の窒化物半導体層5＝窒化物半導体基板の製造）異種基板1として、2インチφ、C面を主面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板1を反応容器内にセットし、温度を510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層（図示されていない）を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0052】バッファ層を成長後、TMGのみ止めて、50

温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープのGaNよりなる第1の窒化物半導体層2を2μmの膜厚で成長させる（図2）。

【0053】第1の窒化物半導体層2を成長後、スパッタ装置により、SiO<sub>2</sub>とSiNとを単一膜厚がλ/4nとなるように交互に10対形成し、第1の保護膜3として誘電体多層膜を形成する。第1の保護膜3成長後、その上にストライプ状のフォトマスクを形成し、露光、現像して、ストライプ幅15μm、ストライプ間隔3μmの（SiO<sub>2</sub>/SiN）<sub>10</sub>よりなる第1の保護膜3を1μmの膜厚で形成する。続いて、RIE装置により第1の保護膜3が形成されていない部分の第1の窒化物半導体層2を途中までエッチングして第1の窒化物半導体層2に凹凸部を形成し第1の窒化物半導体層2の側面を露出させる（図3）。なお、ストライプ方向は、図8に示すように、オリフラ面に対して垂直な方向で形成する。

【0054】第1の窒化物半導体層2に、図4のように凹凸部を形成した後、部分的に窪みを有する第1の窒化物半導体2の表面に、第1の保護膜3と同様に、SiO<sub>2</sub>とSiNとからなる誘電体多層膜を形成し、CF<sub>4</sub>とO<sub>2</sub>ガスにより、凹凸部を形成したことにより露出された第1の窒化物半導体2の側面部分の誘電体多層膜のみをエッチングすることにより、（SiO<sub>2</sub>/SiN）<sub>10</sub>の第2の保護膜4を凹部の下部に形成する。

【0055】第1の保護膜3及び第2の保護膜4を形成後、反応容器内にセットし、温度を1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、アンドープのGaNよりなる第2の窒化物半導体層5を30μmの膜厚で成長させる（図4及び図5）。

【0056】第2の窒化物半導体層5を成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、アンドープGaNよりなる窒化物半導体基板を得る。

【0057】（比較の窒化物半導体基板の製造例）一方、比較のため、上記の製造方法において第1の保護膜3及び第2の保護膜4を形成せず、上記製造方法と同様にサファイア基板1上にバッファ層を成長させた後、その上に第1の窒化物半導体層2を30μmの膜厚で形成し、比較の窒化物半導体基板を得た。

【0058】ここで上記製造された第2の窒化物半導体層5（窒化物半導体基板5）、及び比較の窒化物半導体基板上に、それぞれ10×15μmの範囲を任意に9箇所選び、単位面積あたりのエッチピットの数光学顕微鏡により観察し、エッチピットの数測定した。なお、エッチピットの測定方法は、まず上記のそれぞれのGaN基板をドライエッチングにより約1μmエッチングし、その後、顕微鏡観察を行いエッチピットを数える。エッチピットは、結晶欠陥の指標となり、エッチピットの数が少ないと結晶欠陥のない結晶性の良好な結晶とい

える。その結果、エッチピットの数、本発明の窒化物半導体基板が $5 \times 10^6$ 個/ $\text{cm}^2$ であり、比較の窒化物半導体基板が $1 \times 10^{10}$ 個/ $\text{cm}^2$ であり、本発明のものは比較のものに比べ非常に減少していた。

【0059】(素子構造の形成)次に、上記得られた窒化物半導体基板5上に、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープ(undoped)のGa<sub>0.95</sub>Nよりなる第2の層、20オングストロームとを交互に100層積層してなる総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子構造のn側クラッド層11を形成する。n側クラッド層11を超格子層にするとクラックのない結晶性の良いキャリア閉じ込めのクラッド層が形成できる。

【0060】次に、膜厚20オングストロームの単一量子井戸構造の $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる活性層12、膜厚0.3 $\mu\text{m}$ のMgを $1 \times 10^{20}$ ドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなるp側クラッド層13、膜厚0.5 $\mu\text{m}$ のMgを $1 \times 10^{20}$ ドープGa<sub>0.95</sub>Nよりなるp側コンタクト層14を順に成長させる。素子構造となるn側クラッド層11～n側コンタクト層14成長後、ウェハを反応容器から取り出して、窒素雰囲気中で700℃でアニーリングして、p側クラッド層13、p側コンタクト層14を低抵抗にする。そしてp層側からエッチングを行いクラッド層11の表面を露出させて、Ti/Alよりなるn電極17を0.5 $\mu\text{m}$ の膜厚で形成し、一方p側コンタクト層のほぼ全面には透光性のNi/Auよりなるp電極15を200オングストロームの膜厚で形成し、そのp電極15の上に、ボンディング用のパッド電極16を0.5 $\mu\text{m}$ の膜厚で形成し、図1に示すような同一面側からn電極17とp電極15とを設けた構造とする。最後にサファイア基板の厚さを50 $\mu\text{m}$ 程度まで研磨して薄くした後、研磨面側をスクライブして350 $\mu\text{m}$ 角のチップに分離してLED素子とする。

【0061】得られたLED素子は、結晶欠陥の少ない結晶性の良好な第2の窒化物半導体層を窒化物半導体基板とし、更にラテラル成長の際に保護膜に反射機能を持たせて活性層で発光した光を活性層に近い位置で反射させているので、従来のサファイア基板上に窒化物半導体素子構造を成長させ更にサファイア基板面に反射鏡を設けたものに比較して、出力が1.5倍以上、静電耐圧も2倍以上と非常に優れた特性を示し、素子寿命も向上した。

【0062】[実施例2]以下、図8に示される本発明の一実施の形態である面発光レーザ素子の構造を示した模式的断面図を用いて実施例2を以下に示す。

【0063】実施例1と同様にして、サファイアよりなる異種基板1の上に、Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるバッファ層、アンドープGa<sub>0.95</sub>Nよりなる第1の窒化物半導体層2、光を反射可能な誘電体多層膜よりなる第1の保護膜3及び第2の保護膜5を形成し、更にこの上にアンドープGa<sub>0.95</sub>Nよりなる第2の窒化物半導体層5を順に積層させ、窒化物半導体基板5を形成する。

りなる第2の窒化物半導体層5を順に積層させ、窒化物半導体基板5を形成する。

【0064】上記形成された窒化物半導体基板5上に、Siドープn型Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn側コンタクト層21を4 $\mu\text{m}$ 成長させる。

【0065】次に、40オングストロームのアンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる障壁層と40オングストロームのアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層とを交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚440オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層23を成長させる。ここで上記のようにn側コンタクト層上に活性層を成長させたが、場合によってはn側コンタクト層上にn側クラッド層を形成しこの上に活性層を成長させてもよい。n側クラッド層としては特に限定されないが、例えば、膜厚25オングストロームのアンドープ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層と、25オングストロームのSiドープGa<sub>0.95</sub>N層とを交互に積層して、総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるn側クラッド層が挙げられる。n側クラッド層が超格子層よりなる場合、n型不純物はバンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層のいずれか一方の層に多くドープ(変調ドープ)するとしきい値が低下し易い傾向があり好ましい。

【0066】次に、ウェーハを反応容器から取り出し、円形を有するSiO<sub>2</sub>よりなるマスクを活性層の表面に形成する。但し、そのマスクの位置は前記第2の保護膜5よりも小さく、その第2の保護膜5の真上になるように形成する。ここで上記のように活性層に直接マスクを形成したが、場合によっては活性層上にp側クラッド層を形成しこの上にマスクを形成してもよい。p側クラッド層としては特に限定されないが、例えば、25オングストロームのアンドープ $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層と、25オングストロームのMgドープGa<sub>0.95</sub>N層とを交互に積層して、総膜厚0.4 $\mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層24が挙げられる。p側クラッド層が超格子層よりなる場合、p型不純物はバンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層のいずれか一方の層に多くドープ(変調ドープ)するとしきい値が低下し易い傾向があり好ましい。

【0067】SiO<sub>2</sub>よりなるマスクを形成後、再度、ウェーハを反応容器内に移し、そのマスクが形成されていない活性層23の表面にSiドープn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる電流阻止層26を0.4 $\mu\text{m}$ の膜厚で形成する。なおこの電流阻止層26はZn、Cdのようなp型不純物をドープしてもp型になりにくいp型不純物をドープして、高抵抗なi型の窒化物半導体層としてもよいし、またクラッド層を設ける場合はAl混晶比をクラッド層よりも大きくして高抵抗なi型AlGa<sub>0.95</sub>Nを形成することもできる。

【0068】電流阻止層26形成後、ウェーハを反応容器から取り出し、マスクを除去した後、再び反応容器内

において、その電流阻止層26の上にMgドープp型GaNよりなるp側コンタクト層25を成長させる。

【0069】反応終了後、アニーリングを行いp層をさらに低抵抗化し、実施例1と同じく、エッチングによりn側コンタクト層22の一部を露出させ、露出したn側コンタクト層22にTi/Alよりなるn電極28を形成する一方、p側コンタクト層の表面にNi/Auよりなるp電極27を形成した後、ウェーハをチップに分離して図9に示すような構造の面発光レーザ素子を得た。その結果、結晶欠陥が少ない結晶性の良好な窒化物半導体基板5上に素子構造を形成し、更にラテラル成長に用いられる保護膜に光反射機能を持たせているので、活性層に近い位置に反射鏡となる第2の保護膜5を有しているので良好な反射鏡が得られる。このように反射鏡が活性層に近いと反射鏡間（共振器長）を小さくすることが可能となるので、吸収等からくる共振器の内部損失が小さくなり発振しきい値が下がる。更にラテラル成長の保護膜に光反射機能を持たせているので、反射鏡を形成するための新たな製造工程を増やすことなく、且つ反射鏡を形成したことによる素子構造の結晶性の低下がない。そして、得られた面発光レーザは、410nmのレーザ光がサファイア基板側から観測された。

【0070】[実施例3] 実施例1において、成長させた第1の窒化物半導体層2にダイシングにより段差を形成して第1の窒化物半導体層2の端面を露出させた後、図2に示すように、保護膜3及び保護膜4を形成する他は同様にして、第2の窒化物半導体層5の窒化物半導体基板を得た。得られた窒化物半導体基板上に実施例1と同様に素子構造を形成した結果、実施例1とほぼ同様の結果が得られた。

【0071】[実施例4] 実施例1において、第1の窒化物半導体層2をエッチングする際に、サファイア基板1までエッチングする他は同様にして行った。その結果、実施例1とほぼ同様の結果が得られた。

#### 【0072】

【発明の効果】本発明は、新規なラテラル成長により結晶欠陥の少ない窒化物半導体基板を形成し、更にラテラル成長の際に用いられる保護膜に光反射機能を持たせることで、発光効率の向上したLED、更に保護膜が良好な反射鏡となるので性能の向上した面発光レーザ素子の窒化物半導体、及びそれらの製造方法を提供することができる。更に本発明は、結晶性の良好な窒化物半導体を基板としてこの上に素子構造を構成する窒化物半導体を成長させているので、ライフ時間の伸び、逆耐圧が上昇し、寿命特性の良好な窒化物半導体素子を得ることがで

\* きる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明における光反射機能を有する保護膜を用いて成長させた窒化物半導体基板上に形成された窒化物半導体LED素子の一実施の形態を示す模式的断面図である。

【図2】図2は、本発明における窒化物半導体基板の製造方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図3】図3は、本発明における窒化物半導体基板の製造方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図4】図4は、本発明における窒化物半導体基板の製造方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図5】図5は、本発明における窒化物半導体基板の製造方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図6】図6は、本発明における窒化物半導体基板の製造方法の一工程のその他の形態により得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図7】図7は、サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

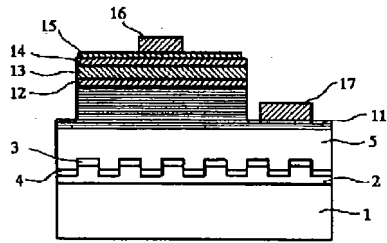
【図8】図8は、保護膜のストライプ方向を説明するための基板主面側の平面図である。

【図9】図9は、本発明における光反射機能を有する保護膜を用いて成長させた窒化物半導体基板上に形成された窒化物半導体LED素子の一実施の形態を示す模式的断面図である。

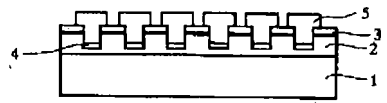
#### 【符号の説明】

- 1・・・異種基板
- 2・・・第1の窒化物半導体
- 3・・・第1の保護膜
- 4・・・第2の保護膜
- 5・・・第2の窒化物半導体（窒化物半導体基板）
- 11・・・n側クラッド層
- 12、23・・・活性層
- 13・・・p側クラッド層
- 14、25・・・p側コンタクト層
- 15、27・・・p電極
- 16・・・パッド電極
- 17、28・・・n電極
- 21・・・n側コンタクト層
- 20・・・クラック防止層
- 26・・・電流阻止層

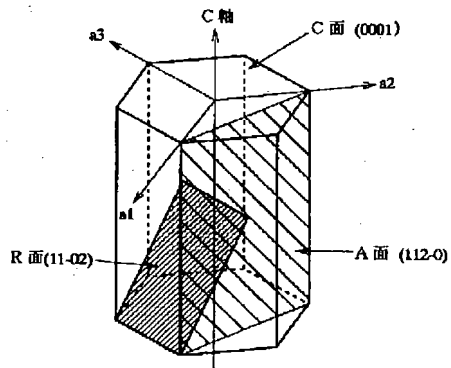
【図 1】



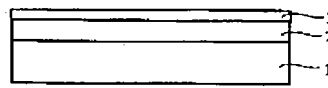
【図 4】



【図 7】



【図 2】



【図 5】



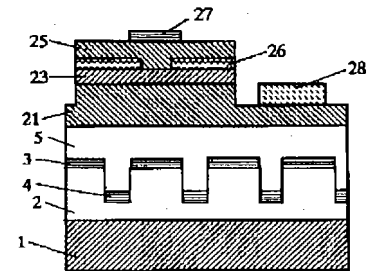
【図 3】



【図 6】



【図 9】



【図 8】

